



TITLE:

薄鋼板の表面性状制御における冶金学的設計指針とその応用(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

恒川, 裕志

CITATION:

恒川, 裕志. 薄鋼板の表面性状制御における冶金学的設計指針とその応用. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-07-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r13042>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016-09-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	恒川裕志
論文題目	薄鋼板の表面性状制御における冶金学的設計指針とその応用		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>自動車には薄鋼板が多用されており，薄鋼板は多岐に渡る要求特性が求められる高付加価値製品である．自動車用途の薄鋼板に強く求められる課題は，高品質化，高強度化，低価格化の三点である．本論文は，冶金学的アプローチによって，薄鋼板の表面性状制御と合理的設計をおこない，高品質化，高強度化，低コスト化を達成したものである．</p> <p>第1章は序論であり，研究の背景について述べ，研究開始当時における薄鋼板の表面性状の問題点を明確にし，表面性状制御における冶金学的な内的，外的因子の制御に関して，本論文で取り組む内容を明らかにした．</p> <p>第2章では，自動車用極低炭 IF(Interstitial Free)鋼の材質に及ぼすメゾ内的因子の制御に関する研究の一例として，材質特性に及ぼす内的な因子(C, P, Mn(S)またはTi 添加)の影響および二次加工脆性に及ぼす内的因子(Ti, C, P, B)の影響を検討した．その結果，極低炭 Nb 添加 IF 鋼においては，C, P, Mn(S)などの元素を低減することで，材質特性が向上することを解明した．また，各元素の寄与度を定量的に明確にし，Nb の代わりに Ti を添加することで，より安定した材質特性を得た．さらに，Nb 添加鋼，Ti 添加鋼とも材料特性に及ぼす C 量の影響が大きく，炭化物の析出による再結晶粒成長の抑制が支配的であることを示した．その寄与度は，Nb, Ti 炭化物ともにほぼ同一であった．また，Ti 添加鋼では高加工を伴う場合，二次加工脆性の劣化が起こるが，余剰チタン量(Ti*)を，$Ti^*/C \leq 1.5$ にすることで許容できるレベルに改善することが可能であることを示した．一方で $Ti^*/C < 3$ 以下では加工性の劣化を招くため，必要な二次加工脆性を得るためには，数 ppm の B の添加や，P の含有量の低減が望ましいことを解明した．従って，本鋼種における材質上の冶金学的な最適成分系は，極低炭に必要最少量 Ti を添加し，補償分の Nb を添加し，二次加工脆性の必要特性に見合った微量 B の添加もしくは P の上限規制をしたものが最適であり，材質の作り分けには，主として鋼中の C 量，P 量，Mn(S)量の制御が適切であることを示した．</p> <p>第3章では，第2章で述べた最終設計成分の自動車用極低炭 IF 鋼における表面性状に及ぼすメゾ内的因子の制御に関する研究の一例として，本鋼種で加工後に圧延方向に生ずる筋状欠陥に及ぼす内的な因子(各種の炭・窒化物の析出形態および Sb 添加)の影響を検討した．その結果，この筋状欠陥は鋼板の表層部の面内に不均一に存在し，$\langle 001 \rangle$軸が板面法線(ND)方向と平行，すなわち $ND // \langle 001 \rangle$方位の圧延方向に伸びた伸展粒(未再結晶粒)によるものであり，これは表層に析出した微細な Ti, Al の窒化物，炭化物，硫化物が再結晶を遅延させることが原因で起こることが明らかとなった．これらの微小な析出物の起源は，熱延完了時または焼鈍工程中で生成する固溶 Ti および浸窒によるものと考えられたので，スラブ再加熱温度(SRT)の低下による熱延段階での固溶 Ti の低減と Sb 添加による焼鈍工程中の浸窒防止により，Ti および Al の窒化物の生成を抑制することによって筋欠陥が改善することを明らかにした．</p> <p>第4章では，自動車外板用薄鋼板の表面性状に及ぼすマクロ外的因子の制御に関する研究</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	恒 川 裕 志
<p>として、自動車外板用薄鋼板の塗装後鮮映性に及ぼす薄鋼板最表面の外的な因子(粗面テクスチャー)の影響について検討した。その結果、塗装後鮮映性は鋼板表面粗度の指標のうち、平均粗さ(R_a)、表面構造の中～長波長成分（うねり）の高さ(W_{ca})、鋼板表面の微視的平坦部分の面積率($W_{2\alpha}$)との相関が認められ、R_aの低減、W_{ca}の低減、$W_{2\alpha}$の面積率の増加により塗装後鮮映性を向上させた。塗装後鮮映性とプレス性を維持する粗面として、レーザーにより規則的な形状に加工したロールを用い、鋼板表面に適切な表面テクスチャーを付与することにより、塗装後鮮映性に優れる鋼板を開発した。また、2コート塗装においてもレーザーダル材の塗装後鮮映性はショットダル材より良好であることを明らかにし、さらに、高密度リングパターンにすることで塗装後鮮映性と油分保性向上によるプレス性の両立を実現した。</p> <p>第5章では、第4章と同じく、自動車外板用薄鋼板の表面性状に及ぼすマクロ外的因子の制御に関する研究として、自動車外板用薄鋼板の清浄度および洗浄性に及ぼす薄鋼板表面と外界条件との相互的影響について検討した。その結果、工程材において鋼板表面に付着している異物の約半数は鋼板由来の鉄粉・亜鉛めっき粉であり、残りが外的環境からの異物であることを明らかにした。また外的環境の異物のうち、約40%が鋼板製造およびプレス設備起因のゴム粉や塗装粉であり、デント疵に至る可能性の高い$30\mu m$以上の大きさの異物が全体の約25%存在していた。これらの異物の混入源は、プレスの初期におけるプレス設備内に存在する異物、プレスの進行に伴う設備の劣化部分から発生する異物、および鋼板と設備との接触、擦れにより発生し堆積したものであった。これらの調査結果より、異物の付着を抑止するためには、定期的な鋼板製造プロセス、鋼板エッジ部の刃返りの管理、鋼板エッジ部の返りなしトリミング装置の適用、開口部の二重扉化、設備への除塵カーテンの設置、プレス時の入側に洗浄装置を設置することや製造設備内での粘着ロールによる鋼板異物の除去等の外的環境因子の改善が必要であることを示唆している。また、鋼板表面粗度と防錆油種、油量を制御することにより、洗浄装置での鋼板の洗浄性が向上することが明らかとなった。</p> <p>第6章では、表面性状の制御に関する応用事例として自動車用GA鋼板(Galvannealed Steel Sheet)の表面摺動性に及ぼすメゾ内的因子であるめっき層Fe濃度の変化およびマクロ外的因子である潤滑皮膜による影響について検討した。その結果、工具長が短く高面圧の条件では、めっき層Fe濃度の増加に伴いGAの摩擦係数は減少するのに対して、潤滑GAの摩擦係数は増加する傾向を示した。一方、工具長が長く低面圧の条件では、GA、潤滑GAともに摩擦係数はめっき層Fe濃度の増加に伴い減少する傾向を示した。また、フェンダーモデルを用いた実プレス成形試験の結果は、潤滑GAにおける材料流入は低Fe濃度皮膜のほうが高Fe濃度皮膜よりも多く、工具長が短く高面圧の条件での摩擦係数の大小傾向と同様であった。一方、パンチ底の材料の伸びは高Fe濃度皮膜のほうが低Fe濃度皮膜よりも大きく、工具長が長く低面圧の条件での摩擦係数の傾向に類似していた。さらに、摺動時に表面が潰されることによる平坦部面積率の増加は、面圧の高い条件では低い条件に比較して大きく、また同じ摺動条件で比較すると、低Fe濃度皮膜のほうがより平坦化が進むことが明らかになった。以上の結果より、面圧の高い条件では、工具長が短いために潤滑皮膜が削り取られることなく残存するために工具と表面の凝着の影響が非常に小さ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	恒 川 裕 志
<p>く、また潤滑油がトラップされる凹部を形成しやすくなるため、より平坦化が進む低 Fe 濃度の場合に潤滑油の封じ込め効果が大きく、Fe 濃度が低い皮膜ほど摩擦係数が低かったと結論した。これに対して、低面圧の条件では平坦化が進みにくく、前述したような潤滑油の封じ込め効果が小さく、また工具長が長いために潤滑皮膜が一部削り取られ下地の GA 表面が露出している可能性があり、工具と表面の凝着の影響がより支配的となり、GA の場合と同様に摩擦係数が Fe 濃度の増加に伴い減少したと結論した。</p> <p>第 7 章では、研究における工業的な成果として、本技術を活用した新商品を含む製品の生産、受注量、不適合率についてまとめた。また、本技術によって実用化した特許について紹介した。さらに将来的に求められる技術的な展望と課題を示した。</p> <p>第 8 章では、各章で得られた研究の総括を示した。本研究の成果に加えて、各種の表面性状の改善に関する技術的な知見を活用した結果として、高品質の薄鋼板を良好な内質および表面性状を同時に充たす製品として量産し、高強度な薄鋼板への展開に関して述べられている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、34 年以上にわたる自動車用薄鋼板の高品質化、高強度化、低価格化を目指した冶金学的研究開発成果をまとめたものである。日本の自動車メーカー各社で使われる自動車用薄鋼板が他国産に比べて低価格で高品質かつ高強度となったのは、本論文の成果によるところが少なくない。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 自動車用極低炭 IF(Interstitial Free)鋼の材質特性に及ぼす C, P, Mn(S)または Ti 添加の影響および二次加工脆性に及ぼす Ti, C, P, B の影響を検討し、C, P, Mn(S) 元素の低減によって材質特性が向上すること、Nb の代わりに Ti を添加することで、より安定した材質特性が得られることを明らかにした。さらに Ti 添加鋼で高加工を伴う場合には二次加工脆性が悪化するが、余剰チタンの低減、数 ppm の B の添加、P の低減によって特性が改善されることを定量的に明らかにした。
2. 自動車用極低炭 IF 鋼に現れる圧延方向の筋状欠陥が、鋼板の表層部の面内に不均一に存在する伸展粒(未再結晶粒)によるものであり、表層に析出した微細な Ti, Al の窒化物、炭化物、硫化物による再結晶の遅延に起因することを明らかにした。これら微小析出物の起源が、熱延完了時または焼鈍工程中に生成する固溶 Ti および浸室によると仮定し、スラブ再加熱温度(SRT)の低下による熱延段階での固溶 Ti の低減と Sb 添加による焼鈍工程中の浸室防止により、Ti および Al の窒化物の生成を抑制することで筋欠陥を改善した。
3. 自動車外板用薄鋼板の塗装後鮮映性に及ぼす薄鋼板最表面の粗面テクスチャーの影響を検討し、平均粗さの低減、表面構造の中波・長波うねり成分の低減、鋼板表面の微視的平坦部の面積率増加が、塗装後鮮映性の向上に寄与することを明らかにした。塗装後鮮映性とプレス性とを維持する粗面として、レーザーによる規則的な形状を加工したロールを用い、鋼板表面にテクスチャーを付与することによって、塗装後鮮映性に優れる鋼板を開発した。
4. 自動車外板用薄鋼板の清浄度および洗浄性が表面性状に及ぼす影響を検討し、鋼板由来鉄粉・めっき由来表面付着異物、鋼板表面粗度、防錆油種、油量制御により、鋼板の表面性状を向上させた。
5. 自動車用 GA(Galvannealed)鋼板の表面摺動性に及ぼすめっき層 Fe 濃度並びに潤滑皮膜の影響を検討し、摺動条件と Fe 濃度の違いによる摺動メカニズムを明確にした。

以上本論文は、各種の表面性状の改善に資する冶金学的な知見を得るとともに工学的に応用した結果として、良好な内質と表面性状とを同時に充たす高品質の薄鋼板を製品として量産し、高強度な薄鋼板への応用に展開する方法を実践したものであり、学術上、實際上寄与するところが多くない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 5 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。